

**Espacenet**

Bibliographic data: KR 20040049025 (A)

INTEGRATED LIGHT SOURCE

Publication date: 2004-06-11
Inventor(s): KIM KEE CHUN +
Applicant(s): KIM KEE CHUN +
Classification:
 - international: F21L4/02; (IPC1-7): F21L4/02
 - European:
Application number: KR20020076159 20021203
Priority number(s): KR20020076159 20021203

Abstract of KR 20040049025 (A)

PURPOSE: An integrated light source is provided to generate parallel beams having various areas and various shapes by arranging closely light source units including parabolic mirrors. CONSTITUTION: An integrated light source includes a plurality of light source units. Each light source unit is formed with a parabolic mirror and a light emission body. The parabolic mirrors of the light source units are arranged closely to each other. Each front side of object lenses of the parabolic mirrors is formed with shapes of regular triangles, shapes of regular squares, and shapes of regular hexagons in order to reduce volumes of the light sources and generate parallel beams.

Last updated: 26.04.2011 Worldwide Database 5.7.22; 93p

(19) 대한민국특허청 (KR)
 (12) 공개특허공보 (A)

(51) . Int. Cl. ⁷
 H01L 21/027

(11) 공개번호 특2002-0076159
 (43) 공개일자 2002년10월09일

(21) 출원번호 10 - 2002 - 0016281
 (22) 출원일자 2002년03월26일

(30) 우선권주장 JP - P - 2001 - 00090646 2001년03월27일 일본(JP)

(71) 출원인 가부시키가이샤 니콘
 일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 3쵸메 2방 3고

(72) 발명자 시게마츠고지
 일본도쿄도지요다쿠마루노우치3쵸메2-3가부시키가이샤니콘내
 미즈사와마사유기
 일본도쿄도지요다쿠마루노우치3쵸메2-3가부시키가이샤니콘내
 후지시마요우헤이
 일본도쿄도지요다쿠마루노우치3쵸메2-3가부시키가이샤니콘내
 마츠모토미호
 일본도쿄도지요다쿠마루노우치3쵸메2-3가부시키가이샤니콘내

(74) 대리인 김창세

심사정구 : 없음

(54) 투영 광학계, 해당 투영 광학계를 구비한 투영 노광 장치 및 투영 노광 방법

요약

본 발명은 짧은 초로(硝路) 길이와 적은 렌즈면 수를 갖고, 초기 상태뿐만 아니라 조명 조건이나 환경이 변화되었다고 해도 양호한 결상 성능을 유지하는 것을 목적으로 한다.

굴절형의 투영 광학계는, 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 부(負)의 제 1 렌즈군 G1과, 정(正)의 제 2 렌즈군 G2와, 부의 제 3 렌즈군 G3과, 제 4 렌즈군 G4와, 정의 제 5 렌즈군 G5를 구비한다. 투영 광학계의 렌즈면의 유효 직경 또는 렌즈의 외경은 제 1 면 A측으로부터 제 2 면 B측으로 향하는 방향에 있어서, 제 1 렌즈군 G1에서는 단조 증가하고, 제 2 렌즈군 G2 중에서 증가로부터 감소로 향하는 경향을 갖고, 제 3 렌즈군 G3 중에서 감소로부터 증가로 향하는 경향을 가지며, 또한 제 5 렌즈군 G5 중에서 단조 감소하는 구성을 취한다. 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지되고, 투영 광학계의 제 2 면 B측의 개구 수는 0.8 이상이다.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

PL : 투영 광학계 AX : 광축

G1 : 제 1 렌즈군 G2 : 제 2 렌즈군

G3 : 제 3 렌즈군 G4 : 제 4 렌즈군

G5 : 제 5 렌즈군 A : 제 1 면

B : 제 2 면 W : 웨이퍼

R : 레티클

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은, 예컨대 반도체 집적 회로, CCD 등의 활상 소자, 액정 디스플레이, 또는 박막 자기 헤드 등의 마이크로 장치를 리소그래피 기술을 이용하여 제조할 때에 이용되는 투영 노광 장치 및 방법, 해당 투영 노광 장치에 적합한 투영 광학계에 관한 것이다.

최근, 반도체 집적 회로 등의 마이크로 장치의 회로 패턴의 미세화에 따라, 스태퍼 등의 노광 장치에서 사용되는 노광용 조명 광(노광광)의 파장은 해마다 단파장화해 오고 있다. 즉, 노광광으로서는, 종래 주로 사용되어 온 수은 램프의 I선(파장 : 365 nm) 대신에 KrF 액시머 레이저광(파장 : 248 nm)이 주류로 되어 오고 있으며, 또한 그것보다도 단파장의 ArF 액시머 레이저광(파장 : 193 nm)도 실용화되어 있다. 또한, 더욱 노광광의 단파장화를 목적으로서, F₂레이저(파장 : 157 nm)와 같은 할로겐 분자 레이저 등의 사용도 시도되고 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

그런데, 자외 대역 또는 진공 자외 대역의 광원으로서는 상술한 액시머 레이저나 할로겐 분자 레이저 등이 있지만, 자외 대역 또는 진공 자외 대역의 방사광을 투과시키는 재료가 한정되기 때문에, 투영 광학계를 구성하는 렌즈 소자의 재료는 한정된 것밖에 사용할 수 없고, 이 한정된 재료의 투과율도 그 정도로 높은 것이 아니다. 그리고, 현 상태에서는, 렌즈 소자의 표면에 마련되는 반사 방지 코트의 성능도 광장용의 것에 비하면 그다지 고성능인 것이 얻어지고 있지 않다. 또한, 최근에는, 조명 광학계에 의한 조명 조건의 변경이나 투영 광학계의 환경의 변동에 따라 투영 광학계의 결상 성능의 변동을 억제하는 것이 요구되고 있다.

본 발명은, 이러한 사정을 감안하여 이루어진 것으로, 그 목적으로 하고자 하는 바는, 짧은 초로(硝路) 길이와 적은 렌즈 개수를 갖고, 초기 상태에서 양호한 결상 성능을 가질 뿐만 아니라, 조명 조건이나 환경이 변화되었다고 해도 양호한 결상 성능을 유지할 수 있는 투영 광학계를 제공하는 것에 있다.

또한, 본 발명의 다른 목적은 지극히 미세화된 투영 원판의 패턴 상(像)을 워크(work)에 양호하게 투영 노광할 수 있는 투영 노광 장치 및 투영 노광 방법을 제공하는 것에 있다.

발명의 구성 및 작용

또한, 본 발명의 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 제 4 렌즈군 중의 최대 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경 또는 최대 외경을 갖는 렌즈의 외경을 Mx4라 하고, 상기 제 4 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경 또는 최소 외경을 갖는 렌즈의 외경을 Mn4라고 할 때, (수학식 2) $\frac{Mx4}{Mn4} < 1$ 을 만족한다.

본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 제 1 렌즈군 내지 상기 제 4 렌즈군 각각의 렌즈군 중의 적어도 하나의 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 제 1 면과 상기 제 3 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면 또는 최소 외경을 갖는 렌즈와의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 상기 제 2 면과 상기 제 3 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면 또는 최소 외경을 갖는 렌즈와의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 제 1 면과 상기 제 3 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면 또는 최소 외경을 갖는 렌즈와의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 상기 제 2 면과 상기 제 3 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면 또는 최소 외경을 갖는 렌즈와의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 광축에 대하여 회전 비대칭인 렌즈면을 갖고, 또한 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 상기 개구 조리개보다도 상기 제 1 면측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 상기 개구 조리개보다도 상기 제 2 면측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 상기 개구 조리개보다도 상기 제 1 면측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 상기 개구 조리개보다도 상기 제 2 면측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 광축에 대하여 회전 비대칭인 렌즈면을 갖고, 또한 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 제 1 렌즈군은 적어도 하나의 부(負)렌즈를 갖고, 상기 제 2 렌즈군은 적어도 하나의 부렌즈와 적어도 3개의 정(正)렌즈를 갖고, 상기 제 3 렌즈군은 적어도 2개의 부렌즈를 가지며, 상기 제 5 렌즈군은 적어도 4개의 정렌즈를 갖는다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 비구면(非球面) 형상의 렌즈면을 갖는다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다.

또한, 본 발명의 제 1 내지 제 3 투영 광학계의 바람직한 형태에 있어서는, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈는 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 제 1 비구면 렌즈와, 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 제 2 비구면 렌즈를 적어도 갖고, 상기 제 1 비구면 렌즈의 렌즈면의 유효 직경 또는 해당 렌즈의 외경을 D1, 상기 제 2 비구면 렌즈의 렌즈면의 유효 직경 또는 해당 렌즈의 외경을 D2라고 할 때, (수학식 3) $\frac{D1}{D2} < 1$ 를 만족한다.

또한, 상기 과제를 해결하기 위해서, 본 발명에 따른 투영 노광 장치는 투영 원판에 마련된 패턴의상을 워크 상에 투영 노광하는 투영 노광 장치에 있어서, 노광광을 공급하는 광원과, 상기 광원으로부터의 노광광을 상기 투영 원판 상의 상기 패턴으로 유도하는 조명 광학계와, 상기 기재된 투영 광학계를 갖고, 상기 제 1 면에 상기 투영 원판을 배치 가능하게 하며, 상기 제 2 면에 상기 워크를 배치 가능하게 한 것이다.

또, 도 1~도 3의 예에서는 투영 광학계 중의 복수의 렌즈가 형성하는 공기 렌즈 중의 가장 제 1 면 A측에 배치되는 공기 렌즈는 양(兩)볼록 형상을 갖는다. 또한, 제 1 렌즈군 G1은 적어도 하나의 부렌즈를 갖고, 제 2 렌즈군 G2는 적어도 하나의 부렌즈와 적어도 3개의 정렌즈를 갖고, 제 3 렌즈군 G3은 적어도 2개의 부렌즈를 가지며, 제 5 렌즈군 G5는 적어도 4개의 정렌즈를 갖는다.

그런데, 본 발명의 투영 광학계에서는, 제 2 렌즈군 G2 중의 최대 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경을 M_{x2} 라 하고, 제 3 렌즈군 G3 중의 최소 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경을 M_{n3} 이라 할 때, 이하의 수학식 1을 만족한다.

수학식 1

$$1. \quad 7 < M_{x2} / M_{n3} < 4$$

수학식 1의 상한을 초과하면, 축외(軸外) 수차의 보정이 곤란하게 되고, 하한을 초과하면, 색 수차의 보정상 바람직하지 못하다. 더 바람직한 경계값으로서는 상한 3.2, 하한 1.85로 된다.

또한, 제 4 렌즈군 G4 중의 최대 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경을 M_{x4} 라고 하고, 최소 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경을 M_{n4} 라고 할 때, 이하의 수학식 2를 만족한다.

수학식 2

$$0. \quad 7.7 < M_{n4} / M_{x4} < 1$$

수학식 2는 색 수차 보정에 바람직한 제 1 면 A로부터 제 2 면 B까지의 사이에서 단지 하나가 현저한 극소를 갖는 광학계의 구성을 규정하고 있다. 수학식 2를 만족하지 않는 경우, 색 수차 보정에 대하여 바람직하지 못하다. 더 바람직한 경계값은 하한이 0.8로 된다. 상한은 수학식이 최소/최대이므로, 1이 한계값으로 된다.

또한, 투영 광학계 중의 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 것이 바람직하다. 이 비구면의 작용에 의해, 초기의 결상 성능을 충분히 높이면서, 환경 변동에 대한 안정성과 충분한 투과율을 확보할 수 있다.

이 경우, 투영 광학계 중의 복수의 렌즈는 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 제 1 비구면 렌즈와, 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 제 2 비구면 렌즈를 갖는 것이 바람직하고, 제 1 비구면 렌즈의 렌즈면의 유효 직경을 D_1 , 제 2 비구면 렌즈의 유효 직경을 D_2 라고 할 때, 이하의 수학식 3을 만족하는 것이 바람직하다.

수학식 3

$$0. \quad 8 < D_1 / D_2 < 1. \quad 2$$

수학식 3은 투영 광학계에 마련되는 비구면의 직경이 현저히 과도하게 커지지 않는 구성을 규정하고 있다. 수학식 3을 만족하지 않는 경우에는, 투영 광학계에 마련되는 비구면의 직경이 현저히 과도하게 커져, 비구면 가공이 곤란하고, 경우에 따라서는 불가능해지기 때문에, 투영 광학계의 제조상 바람직하지 못하다.

또한, 본 발명의 투영 광학계에서는, 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다. 렌즈의 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽을 조정하는 것에 의해, 투영 광학계의 결상 특성을 보정할 수 있다.

또, 도 1~도 3의 예에서는, 제 1 렌즈군 G1, 제 2 렌즈군 G2 및 제 3 렌즈군 G3 각각의 렌즈군 중의 적어도 하나의 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지된다. 또한, 제 1 면 A와 제 2 렌즈군 G2 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면 또는 최소 외경을 갖는 렌즈와의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 제 2 면 B와 제 2 렌즈군 G2 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면 또는 최소 외경을 갖는 렌즈와의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는

제 4 렌즈군 G4는 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 볼록면을 제 2 면 B측으로 향한 평볼록 형상의 정렌즈 L41과, 양 볼록 형상의 정렌즈 L42와, 양 오목 형상의 부렌즈 L43, 양 볼록 형상의 정렌즈 L44를 갖는다.

제 5 렌즈군 G5는 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 양 볼록 형상의 정렌즈 L51과, 볼록면을 제 1 면 A측에 향한 메니스커스 형상의 3개의 정렌즈 L52~L54와, 평행 평판 L55를 갖고 있다. 여기서, 정렌즈 L53의 제 2 면 B측의 렌즈면 ASP4는 비구면 형상으로 형성되어 있다.

도 2는 실시예 2에 따른 투영 광학계의 광로도이다. 본 실시예의 투영 광학계는 248.4 mm를 기준 파장으로 한 것이다. 또, 실시예 2에 있어서, 투영 광학계의 모든 광투과성 굴절 부재(렌즈 L11~L55)는 석영 유리(합성 석영)로 형성되어 있다.

도 2에 나타내는 바와 같이, 실시예 2의 투영 광학계는 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈군 G1과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈군 G2와, 부의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈군 G3과, 광로 중에 개구 조리개 AS를 갖는 제 4 렌즈군 G4와, 정의 굴절력을 갖는 제 5 렌즈군 G5를 구비하고 있다. 투영 광학계에서의 렌즈면의 유효 직경은 제 1 면 A측으로부터 제 2 면 B측으로 향하는 방향에서, 제 1 렌즈군 G1에서는 단조 증가하고, 제 2 렌즈군 G2 중에서 증가로부터 감소로 향하는 경향을 갖고, 제 3 렌즈군 G3 중에서 감소로부터 증가로 향하는 경향을 가지며, 또한 제 5 렌즈군 G5 중에서 단조 감소하는 구성으로 되어 있다. 또한, 제 2 렌즈군 G2 중에서 극대를 갖고, 제 3 렌즈군 G3 중에서 극소를 갖고, 제 3 내지 제 5 렌즈군 G5 중에서 극대를 취하며, 또한 제 1 면 A으로부터 제 2 면 B까지의 사이에서 단지 하나가 현저한 극소를 갖는 구성으로 되어 있다.

제 1 렌즈군 G1은 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 오목면을 제 2 면 B측으로 향한 평오목 형상의 부렌즈 L11과, 오목면을 제 1 면 A측으로 향한 메니스커스 형상의 부렌즈 L12를 갖는다. 이들 부렌즈 L11, L12에 의해서, 양 볼록 형상의 기체 렌즈를 형성하고 있다. 여기서, 부렌즈 L11의 제 2 면 B측의 렌즈면 ASP1은 비구면 형상으로 형성되어 있다.

제 2 렌즈군 G2는 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 오목면을 제 1 면 A측으로 향한 메니스커스 형상의 2개의 부렌즈 L21, L22와, 양 볼록 형상의 2개의 정렌즈 L23, L24와, 볼록면을 제 1 면 A측에 향한 메니스커스 형상의 2개의 정렌즈 L25, L26을 갖는다. 여기서, 정렌즈 L26의 제 2 면 B측의 렌즈면 ASP2는 비구면 형상으로 형성되어 있다.

제 3 렌즈군 G3은 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 양 오목 형상의 4개의 부렌즈 L31~L34와, 오목면을 제 1 면 A측으로 향한 메니스커스 형상의 부렌즈 L35를 갖는다. 여기서, 부렌즈 L34의 제 2 면 B측의 렌즈면 ASP3은 비구면 형상으로 형성되어 있다.

제 4 렌즈군 G4는 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 양 볼록 형상의 정렌즈 L41과, 볼록면을 제 1 면 A측으로 향한 메니스커스 형상의 2개의 정렌즈 L42, L43과, 양 볼록 형상의 정렌즈 L44를 갖는다.

제 5 렌즈군 G5는 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 오목면을 제 1 면 A측으로 향한 메니스커스 형상의 부렌즈 L51과, 볼록면을 제 1 면 A측으로 향한 메니스커스 형상의 4개의 정렌즈 L52~L55를 갖고 있다. 여기서, 정렌즈 L53의 제 2 면 B측의 렌즈면 ASP4는 비구면 형상으로 형성되어 있다.

도 3은 실시예 3에 따른 투영 광학계의 광로도이다. 본 실시예의 투영 광학계는 248.4 mm를 기준 파장으로 한 것이다. 또, 실시예 3에 있어서, 투영 광학계의 모든 광투과성 굴절 부재(렌즈 L11~L55)는 석영 유리(합성 석영)로 형성되어 있다.

도 3에 나타내는 바와 같이, 실시예 3의 투영 광학계는 제 1 면 A측에서부터 순서대로, 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈군 G1과, 정의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈군 G2와, 부의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈군 G3과, 광로 중에 개구 조리개 AS를 갖는 제 4 렌즈군 G4와, 정의 굴절력을 갖는 제 5 렌즈군 G5를 구비하고 있다. 투영 광학계에서의 렌즈면의 유효 직경은, 제 1 면 A측으로부터 제 2 면 B측으로 향하는 방향에서, 제 1 렌즈군 G1에서는 단조 증가하고, 제 2 렌즈군 G2 중

수학식 4

$$Z = \frac{cY^2}{1 + \sqrt{\{1 - (1 + \kappa)c^2 Y^2\}}} + C4Y^4 + C6Y^6 + C8Y^8 + C10Y^{10} + C12Y^{12} + C14Y^{14}$$

Z : 광축 방향의 세그**Y :** 광축으로부터의 거리(직경 방향)**c :** 면 정점에서의 곡률(곡률 반경의 역수) **κ :** 원주 계수(K) (구면의 경우, $\kappa=0$)**C4,C6,C8,C10,C12,C14 :** 비구면 계수

실시예 1~실시예 3 각각의 투영 광학계에서는 렌즈 재질(초재)로서 석영 유리(합성 석영)를 이용하고 있다. 각 실시 예에 있어서, 기준 파장 248.4 nm에서의 석영 유리(합성 석영)의 굴절율, 파장 1 pm당 석영 유리의 굴절율의 변화량(분산) 및 석영 유리의 비중은 이하와 같다.

석영 유리의 굴절율 : 1.50839

석영 유리의 분산 : $-5.6 \times 10^{-7} / +1 \text{ pm}$

석영 유리의 비중 : 2.2

또, 분산은 파장 $+1 \text{ pm}$ 당 굴절율의 변화량을 나타내고 있고, 분산이 $-5.6 \times 10^{-7} / +1 \text{ pm}$ 이라는 것은, 파장이 기준 파장으로부터 $+1 \text{ pm}$ 만큼 변화한 경우에 굴절율이 5.6×10^{-7} 만큼 감소하는 것을 의미하고 있다.

이하의 표 1~표 3에 있어서, SiO_2 는 석영 유리를 나타내고, NA는 제 2 면 B측의 개구 수, ϕ 는 제 2 면 B 상에서의 이미지 서클의 반경, β 는 투영 광학계 전체의 투영 배율, d_0 은 제 1 면 A로부터 가장 제 1 면 A측의 광학면(렌즈면, 반사면)까지의 거리, WD는 가장 제 2 면 B측의 광학면으로부터 제 2 면 B까지의 거리(작동 거리)를 나타낸다. 또한, ASP1~ASP4는 비곡면을 나타내고, AS는 개구 조리개를 나타낸다. 또, 각 실시예에 대하여 공통으로, 투영 광학계의 개구 수 NA(제 2 면 B측의 개구 수), 투영 배율 β , 및 제 2 면 B 상에서의 이미지 서클의 반경 ϕ 는 이하와 같다.

NA = 0.82

 $\beta = 1/4$ $\phi = 13.2 \text{ mm}$

(표 1)

실시예 1(도 1)					
	곡률 반경 (mm)	면 간격/ 중심 두께 (mm)	유리 비구면 렌즈	유효 직경 (mm)	
1:	∞	25.500	SiO_2	L11	132.4
2:	211.275	41.253	ASP1		142.1

32:	-795.958	24.000	SiO ₂	L43	277.4
33:	278.236	27.029			274.5
34:	500.126	58.684	SiO ₂	L44	283.1
35:	-393.024	10.492			286.0
36:	2955.500	32.879	SiO ₂	L51	285.8
37:	-626.544	1.000			285.3
38:	201.110	49.960	SiO ₂	L52	265.1
39:	730.074	1.000			256.6
40:	162.066	45.261	SiO ₂	L53	223.7
41:	280.000	5.759		ASP4	201.3
42:	159.106	53.928	SiO ₂	L54	177.4
43:	492.581	6.294			130.6
44:	∞	53.000	SiO ₂	L55	125.0
45:	∞				56.4

[비]구연 대이터]

< ASP1 >	< ASP2 >
κ : 0.00000	κ : 0.00000
C4 : -8.99872×10^{-08}	C4 : 1.00733×10^{-08}
C6 : 1.88253×10^{-12}	C6 : -9.57452×10^{-14}
C8 : -6.92844×10^{-17}	C8 : 2.76746×10^{-19}
C10 : 6.86429×10^{-21}	C10 : -2.57352×10^{-23}
C12 : -1.21174×10^{-24}	C12 : 7.72339×10^{-26}
C14 : 7.08409×10^{-29}	C14 : -4.21223×10^{-32}
< ASP3 >	< ASP4 >
κ : 0.00000	κ : 0.00000
C4 : 4.32781×10^{-08}	C4 : -1.11168×10^{-08}
C6 : -7.29382×10^{-13}	C6 : 1.69910×10^{-13}
C8 : -1.89306×10^{-17}	C8 : -1.71278×10^{-18}
C10 : 1.26587×10^{-21}	C10 : -2.32359×10^{-22}

C12 : -1.84258×10^{-26} C12 : 5.36170×10^{-28}
 C14 : $0.00000 \times 10^{+00}$ C14 : 7.75398×10^{-32}

(표 2)

21:	-115.190	17.865	SiO ₂	L33	138.1
22:	3048.133	14.394			159.5
23:	-306.688	55.025	SiO ₂	L34	161.6
24:	2288.537	12.262		ASP3	215.5
25:	-3110.668	37.657	SiO ₂	L35	220.7
26:	-238.147	1.000			230.6
27:	2784.239	49.533	SiO ₂	L41	262.4(Mn4)
28:	-261.060	1.000			267.7
29:	301.548	50.456	SiO ₂	L42	287.3(Mx4)
30:	2090.868	12.300			284.1
31:	∞	9.305		AS	282.3
32:	9513.104	55.412	SiO ₂	L43	281.2
33:	271.141	27.421			276.1
34:	462.725	50.112	SiO ₂	L44	283.9
35:	-564.778	1.000			285.6
36:-84302.567	34.086	SiO ₂	L51	285.7	
37:	-509.897	1.000			285.7
38:	200.575	46.481	SiO ₂	L52	264.3
39:	648.269	1.007			257.2
40:	169.530	35.871	SiO ₂	L53	227.6
41:	279.942	8.224		ASP4	214.2
42:	146.299	54.467	SiO ₂	L54	182.4
43:	469.601	7.273			139.5
44:	5116.633	58.229	SiO ₂	L55	132.2
45:	1153.136				54.8

[비구면 데이터]

< ASP1 >	< ASP2 >
κ : 0.00000	κ : 0.00000
C4 : -9.38125×10^{-6}	C4 : 1.54761×10^{-6}

C6 : 2.50879×10^{-12}	C6 : -2.39312×10^{-13}
C8 : -6.27999×10^{-17}	C8 : 4.05575×10^{-18}
C10 : 4.12928×10^{-21}	C10 : -7.34673×10^{-23}
C12 : -2.17575×10^{-25}	C12 : 7.00382×10^{-28}
C14 : 0.00000	C14 : 0.00000
< ASP3 >	
κ : 0.00000	κ : 0.00000
C4 : 4.46673×10^{-6}	C4 : -1.54863×10^{-6}
C6 : -6.64292×10^{-13}	C6 : -2.55751×10^{-14}
C8 : -2.78075×10^{-17}	C8 : 1.39035×10^{-19}
C10 : 1.34132×10^{-21}	C10 : -1.53962×10^{-22}
C12 : -1.05650×10^{-26}	C12 : -2.14246×10^{-27}
C14 : -2.22069×10^{-31}	C14 : 8.42244×10^{-32}

39:	-367.624	1.000			286.3(Mx4)
40:	230.000	40.103	SiO ₂	L51	286.2
41:	413.404	1.000			278.9
42:	234.229	41.871	SiO ₂	L52	271.0
43:	803.282	3.792			264.1
44:	154.591	45.408	SiO ₂	L53	225.4
45:	395.911	7.175		ASP4	210.8
46:	138.759	47.541	SiO ₂	L54	171.9
47:	261.540	10.750			128.4
48:	-2223.234	49.636	SiO ₂	L55	122.9
49:	-1482.603				59.4

[비구면 데이터]

< ASP1 >	< ASP2 >
κ : 0.00000	κ : 0.00000
C4 : -1.22769×10^{-07}	C4 : 5.48518×10^{-09}
C6 : 3.91902×10^{-12}	C6 : -3.71287×10^{-14}
C8 : 1.54573×10^{-16}	C8 : -6.54689×10^{-19}
C10 : 5.81458×10^{-21}	C10 : 1.54179×10^{-23}
C12 : 0.00000	C12 : 0.00000
C14 : 0.00000	C14 : 0.00000
< ASP3 >	< ASP4 >
κ : 0.00000	κ : 0.00000
C4 : 2.48721×10^{-08}	C4 : 4.78408×10^{-09}
C6 : -2.70011×10^{-12}	C6 : 2.28738×10^{-14}
C8 : -1.40184×10^{-16}	C8 : -8.67747×10^{-19}
C10 : -2.90417×10^{-21}	C10 : 1.63825×10^{-22}
C12 : 0.00000	C12 : 0.00000
C14 : 0.00000	C14 : 0.00000

이하의 표 4 및 표 5에 실시예 1~실시예 3 각각의 조건 대응 수치를 나타낸다. 표 4에 있어서, Mx2는 제 2 렌즈군 중의 최대 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경(mm), Mn3은 제 3 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경(mm)을 나타내고 있다. 또한, 표 5에 있어서, Mx4는 제 4 렌즈군 중의 최대 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경(mm), Mn4는 제 4 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경(mm)을 나타내고 있다. 또한, 표 6에 있어서, D1은 제 1 비구면 렌즈의 렌즈면의 유효 직경(mm), D2는 제 2 비구면 렌즈의 유효 직경(mm)을 나타내고 있다.

(표 4)

	Mx 2 (mm)	Mn 3 (mm)	Mx 2 / Mn 3
실시예 1:	281.8	135.3	2.08
실시예 2:	277.8	134.8	2.06
실시예 3:	277.5	132.0	2.10

이미지 필드의 단위는, 상술에 있어서 꼭을 반경, 간격의 단위로서 μm 을 채용한 경우에는 μm 이다. 또, 본 실시예의 투영 광학계에서는 FWHM(full width at half maximum)에서 0.5 μm 의 범위에서 색 수차 보정이 이루어지고 있으며, 본 실시예의 투영 광학계를 노광 장치에 내장한 경우에 노광 장치의 광원으로의 부담을 저감하는 것이 가능하다.

상기 실시예 1~실시예 3의 투영 광학계는 도 10에 나타내는 실시예의 투영 노광 장치에 적용할 수 있다. 이하, 도 10을 참조하여, 본 발명에 따른 노광 장치의 실시예에 대해 설명한다. 도 10은 실시예에 따른 투영 노광 장치의 개략 구성을 도시하는 도면이다. 또한, 도 10에서는 XYZ 직교 좌표계를 채용하고 있다. XYZ 직교 좌표계는 워크(감광성 기판)로서의 웨이퍼 W를 유지하는 웨이퍼 스테이지(22)에 대하여 평행해지도록 X축 및 Y축이 설정되고, Z축이 웨이퍼 스테이지(22)에 대하여 직교하는 방향(투영 광학계 PL의 광축 AX에 평행한 방향)으로 설정된다. 실제로는, 도면 중의 XYZ 직교 좌표계는 XY 평면이 수평면에 평행한 면으로 설정되고, Z축이 연직(鉛直)상 방향으로 설정된다.

실시예에 따른 노광 장치는, 노광 광원으로서 KrF 액시머 레이저 광원을 사용하고, 상기 실시예 1~실시예 3 중 어느 하나의 굴절형 투영 광학계를 투영 광학계 PL로서 사용하여, 본 발명을 적용한 것이다. 본 실시예의 투영 노광 장치에서는 레티클 R 상의 소정 형상의 조명 영역에 대하여 상대적으로 소정의 방향으로 레티클 R 및 웨이퍼 W를 동기하여 주사하는 것에 의해, 웨이퍼 W 상의 하나의 쇼트 영역에, 투영 원판으로서의 레티클 R의 패턴 상을 차차 적으로 전사하는 스텝·앤파·스캔 방식을 채용하고 있다. 이러한 스텝·앤파·스캔형의 노광 장치에서는 투영 광학계의 노광 필드 보다도 넓은 기판(웨이퍼 W) 상의 영역에 레티클 R의 패턴을 노광할 수 있다.

도 10에 있어서, 레이저 광원(2)은, 예컨대 발진 파장 248 nm의 펄스 자외광을 출력하는 KrF 액시머 레이저를 갖는다. 또, 본 실시예에서의 레이저 광원(2)으로서는 KrF 액시머 레이저에 한정되지 않고, 발진 파장 193 nm의 ArF 액시머 레이저나, 파장 약 120 nm~약 180 nm의 진공 자외 대역에 속하는 광을 발생하는 레이저, 예컨대 발진 파장 157 nm의 불소다이머 레이저(F_2 레이저)나, 발진 파장 146 nm의 크리프톤다이머 레이저(Kr_2 레이저), 발진 파장 126 nm의 아르고나이머 레이저(Ar_2 레이저) 등을 이용하더라도 무방하다.

그런데, 레이저 광원(2)으로부터의 펄스 레이저광(조명광)은 편향 미러(3)에 의해 편향되어, 광로 지연 광학계(41)로 향하여, 레이저 광원(2)으로부터의 조명광의 시간적 가간섭 거리(코히어런스 길이) 이상의 광로 길이차가 부여된 시간적으로 복수의 광속으로 분할된다. 또, 이러한 광로 지연 광학계는, 예컨대 일본 특허 공개 평성 제 1 - 198759 호 공보나 일본 특허 공개 평성 제 11 - 174365 호 공보에 개시되어 있다.

광로 지연 광학계(41)로부터 사출되는 조명광은 광로 편향 미러(42)에 의해 편향된 후에, 제 1 플라이 아이 렌즈(43), 줌 렌즈(44), 진동 미러(45)를 순서대로 거쳐서 제 2 플라이 아이 렌즈(46)에 도달한다. 제 2 플라이 아이 렌즈(46)의 사출측에는 유효 광원의 사이즈·형상을 소망하는 형상으로 설정하기 위한 조명 광학계 개구 조리개용의 전환 리볼버(5)가 배치되어 있다. 본 예에서는 조명 광학계 개구 조리개에서의 광량 손실을 저감시키기 때문에, 줌 렌즈(44)에 의한 제 2 플라이 아이 렌즈(46)로의 광속의 크기를 가변으로 하고 있다.

조명 광학계 개구 조리개의 개구로부터 사출한 광속은 콘덴서 렌즈군(10)을 거쳐서 조명 시야 조리개(레티클 블라인드)(11)를 조명한다. 또, 조명 시야 조리개(11)에 대해서는 일본 특허 공개 평성 제 4 - 196513 호 공보 및 이것에 대응하는 미국 특허 제 5,473,410 호 공보에 개시되어 있다.

조명 시야 조리개(11)로부터의 광은 편향 미러(151, 154), 렌즈군(152, 153, 155)으로 이루어지는 조명 시야 조리개 결상 광학계(레티클 블라인드 결상계)를 거쳐서 레티클 R 상에 유도되고, 레티클 R 상에는 조명 시야 조리개(11)의 개구부의 상(像)인 조명 영역이 형성된다. 레티클 R 상의 조명 영역에서의 광은 투영 광학계 PL을 거쳐서 웨이퍼 W 상

여기서, 케이스(40, 150, 170, 200) 각각에는 급기 밸브(147, 156, 171, 201)가 마련되어 있고, 이들 급기 밸브(147, 156, 171, 201)는 도시하지 않은 가스 공급 장치에 접속된 급기관로에 접속되어 있다. 또한, 케이스(40, 150, 170, 200) 각각에는 배기 밸브(148, 157, 172, 202)가 마련되어 있고, 이들 배기 밸브(148, 157, 172, 202)는 각각 도시하지 않은 배기관로를 거쳐서 상기 가스 공급 장치에 접속되어 있다. 또, 가스 공급 장치로부터의 특정 가스는 도시하지 않은 온도 조정 장치에 의해 소정의 목표 온도로 제어되어 있다. 여기서, 특정 가스로서 헬륨을 이용하는 경우에는, 온도 조정 장치는 각 케이스의 근방에 배치되는 것이 바람직하다.

마찬가지로, 가스 치환실(174, 204)에도 급기 밸브(175, 205)와 배기 밸브(176, 206)가 마련되어 있고, 급기 밸브(175, 205)는 급기관로를 거쳐서, 배기 밸브(176, 206)는 배기관로를 거쳐서 각각 상기 가스 공급 장치에 접속되어 있다. 또한, 투영 광학계 PL의 경통에도 급기 밸브(181) 및 배기 밸브(182)가 마련되어 있고, 급기 밸브(181)는 도시하지 않은 급기관로를 거쳐서, 배기 밸브(182)는 도시하지 않은 배기관로를 거쳐서 상기 가스 공급 장치에 접속되어 있다.

또, 급기 밸브(147, 156, 171, 175, 181, 201, 205)가 마련된 급기관로와, 배기 밸브(148, 157, 172, 176, 182, 202, 206)가 마련된 배기관로에는 HEPA 필터 또는 ULPA 필터 등의 이물질(파티클)을 제거하기 위한 필터와, 산소 등의 흡수성 가스를 제거하는 화학적 필터가 마련되어 있다.

또한, 가스 치환실(174, 204)에서는 레티클 교환 또는 웨이퍼 교환 시 등일 때에 가스 치환을 행할 필요가 있다. 예컨대, 레티클 교환 시에는, 도어(174)를 열어 레티클 스토퍼(210)로부터 레티클을 가스 치환실(174) 내로 반입하고, 도어(174)를 닫아 가스 치환실(174) 내를 특정 가스로 채우고, 그 후, 도어(173)를 열어 레티클을 레티클 스테이지 RS 상에 탑재한다. 또한, 웨이퍼 교환 시에는, 도어(207)를 열어 웨이퍼를 가스 치환실(204) 내로 반입하고, 이 도어(207)를 닫아 가스 치환실(204) 내를 특정 가스로 채운다. 그 후, 도어(203)를 열어 웨이퍼를 웨이퍼 홀더(20) 상에 탑재한다. 또, 레티클 반출, 웨이퍼 반출의 경우는 이 반대의 순서이다. 또, 가스 치환실(174, 204)로의 가스 치환 시에는, 가스 치환실 내의 분위기를 감압한 후에, 급기 밸브로부터 특정 가스를 공급하더라도 무방하다.

또한, 케이스(170, 200)에서는, 가스 치환실(174, 204)에 의한 가스 치환을 행한 기체가 혼입될 가능성이 있어, 이 가스 치환실(174, 204)의 가스 중에는 상당한 양의 산소 등의 흡수 가스가 혼입되어 있을 가능성이 높기 때문에, 가스 치환실(174, 204)의 가스 치환과 동일한 타이밍에서 가스 치환을 행하는 것이 바람직하다. 또한, 케이스 및 가스 치환실에서는 외부 분위기의 압력보다도 높은 압력의 특정 가스를 충전해 두는 것이 바람직하다.

그런데, 본 실시예에 있어서, 투영 광학계 PL을 구성하는 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 그 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지되어 있다. 이것에 의해, 투영 광학계 PL의 결상 특성을 보정할 수 있다. 본 실시예에서는, 투영 광학계 PL의 내외의 환경을 계측하고, 그 계측 결과에 근거하여, 투영 광학계 PL의 렌즈를 구동해서, 그 렌즈의 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽을 조정하여, 투영 광학계 PL의 결상 특성을 보정한다.

도 11은 상술한 결상 특성의 보정에 관한 제어 블럭도이다.

도 11에 있어서, 환경 조건의 계측 기구로서, 투영 광학계 PL의 내부(경통의 내측)에는 기압 센서(300)가 마련되어 있고, 기압 센서(300)의 계측값이 주 제어계(301)에 공급되어 있다. 또한, 투영 광학계 PL 근방에 마련된 온도 센서(302), 기압 센서(303) 및 습도 센서(304)에 의해서 각각 계측되는 투영 광학계 PL을 둘러싸는 기체의 온도, 기압 및 습도의 정보도 각각 주 제어계(301)에 공급되어 있다. 주 제어계(301)는 구동부(306)(액츄에이터)을 거쳐서 투영 광학계 PL 중의 소정의 렌즈를 구동하는 것에 의해, 그 렌즈의 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽을 조정한다. 즉, 주 제어계(301)는 투영 광학계 PL의 내외의 환경 조건의 변화와 투영 광학계 PL의 결상 특성(제수차)과의 관계를 미리 기억해

향)으로의 이동, 및 X축에 평행한 축 주위 및 Y축에 평행한 축 주위의 틸트를 행함으로써, 그 소정수의 종류의 수차를 개별적으로 보정하는 것이 가능해진다. 본 실시예에서는, 투영 광학계 PL 중의 5개의 렌즈에 대해, 그 중의 하나의 렌즈의 위치 및 자세를 조정하는 것에 의해, 또는 그 중의 복수의 렌즈의 위치 및 자세를 서로 관련지어 조정하는 것에 의해, 배율, 왜곡(왜곡 수차), 코마 수차, 상면(像面) 만곡 수차 및 구면 수차를 개별적으로 보정할 수 있다. 또, 상술한 렌즈의 위치 및 자세의 조정에 의해서 수차를 보정하는 기술에 대해서는, 예컨대 일본 특허 공개 평성 제 11 - 195602 호 공보 등에 개시되어 있다. 또한, Z축 방향(광축 AX 방향)으로의 이동, 및 X축에 평행한 축 주위 및 Y축에 평행한 축 주위의 틸트를 실행하는 기구에 대해서는, 예컨대 일본 특허 공개 평성 제 9 - 106944 호, 일본 특허 공개 평성 제 10 - 206714 호 및 일본 특허 공개 평성 제 11 - 44834 호 등의 각 공보에도 개시되어 있다. 또한, X축에 평행한 축 주위 및 Y축에 평행한 축 주위의 틸트를 실행하는 기구에 대해서는, 일본 특허 공개 제 2000 - 235134 호 공보 및 일본 특허 공개 제 2000 - 249886 호 공보 등에도 개시되어 있다.

또한, 투영 광학계의 결상 특성을 보정하기 위한 렌즈의 위치 및 자세의 조정은 상술한 Z축 방향(광축 AX 방향)의 렌즈의 위치, 및 X축에 평행한 축 주위 및 Y축에 평행한 축 주위의 틸트의 조정에 한정되지 않는다. 즉, 상술한 자세의 조정에 부가하여, 투영 광학계 PL 중의 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈를 광축에 수직인 XY면 내에서 이동(시프트) 시켜 그 렌즈의 편심을 조정하는 것이 바람직하다. 여기서, 렌즈의 위치 및 자세의 조정에 있어서, 전술한 Z축 방향(광축 AX 방향)의 위치 및 X축에 평행한 축 주위 및 Y축에 평행한 축 주위의 틸트를 조정하는 수단을 제 1 조정 수단, 광축에 수직인 XY면 내에서의 렌즈의 위치를 조정하는 수단을 제 2 조정 수단이라고 부르기로 한다.

제 2 조정 수단에 의한 렌즈의 위치 조정에 있어서, 제 1 조정 수단에서 위치 및 자세를 조정하는 렌즈와는 다른 렌즈를 조정 대상으로 하는 것이 바람직하다. 또한, 투영 광학계 중의 복수의 렌즈 중, 적어도 2개의 렌즈를 관련지어 동시에 조정하는 것이 바람직하다. 제 2 조정 수단에 의한 렌즈의 위치 조정은 제 1 조정 수단에 의한 조정에 의해서 보정할 수 없었던 투영 광학계의 결상 특성의 잔류 성분을 보정하는 것을 주된 목적으로 하고 있다. 즉, 제 1 조정 수단에 의한 렌즈의 위치 및 자세의 조정과 제 2 조정 수단에 의한 렌즈의 위치의 조정을 조합하여 행함으로써, 투영 광학계의 결상 특성을 보다 고정밀도로 보정할 수 있다. 또, 제 2 조정 수단도 제 1 조정 수단과 마찬가지로, 투영 광학계 내외의 환경을 계측한 결과에 근거하여 구동 제어되는 것이 바람직하다. 렌즈를 광축에 수직인 XY면 내에서 이동시키는 제 2 조정 수단의 기본적인 기구로서는, 예컨대 일본 특허 공개 제 2000 - 206385 호 공보에 개시된 기술을 이용할 수 있다.

또한, 상술한 제 1 조정 수단 및 제 2 조정 수단에 의한 렌즈의 위치 및 자세의 조정에 부가하여, 투영 광학계 중의 복수의 렌즈 중, 광축에 대하여 회전 비대칭인 렌즈면을 갖는 적어도 하나의 렌즈를, 광축을 중심으로 회전시켜 그 렌즈의 회전 위치를 조정하는 것이 바람직하다. 여기서, 이 렌즈의 회전 위치를 조정하는 수단을 제 3 조정 수단이라고 부르기로 한다. 이 제 3 조정 수단에 의해, 투영 광학계의 센터 접지 성분이나 비동방적 왜곡을 보정할 수 있다. 여기서, 센터 접지 성분이란, 투영 광학계의 투영 영역의 중심에서 발생하는 접지 성분이다. 또한, 비동방적 왜곡이란, 결상 배율이 상면 내의 소정의 자오선 방향과 이것에 직교하는 자오선 방향에서 상이한 수차를 말한다. 또, 광축에 대하여 회전 비대칭인 렌즈면에서는, 예컨대 X축 방향의 곡율과 Y축 방향의 곡율이 다른 트릭면을 이용할 수 있다.

여기서, 트릭면이 형성된 렌즈를 이용하여 센터 접지 성분을 보정하는 원리에 대하여 간단히 설명한다. 도 14는 센터 접지 성분을 보정하는 원리를 설명하기 위한 도면이다. 도 14에 있어서, 렌즈(320, 321)는 투영 광학계 PL을 구성하는 렌즈 중의 일부 렌즈이다. 이들 렌즈(320, 321) 중의 적어도 한쪽은 광축 AX를 중심으로 하여 회전 가능하게 마련되어 있다. 그리고, 렌즈(320, 321)는 각각 곡율 반경이 가장 강한 방향(320A, 321A)과, 이들 방향(320A, 321A)과 직교한 방향으로서 각각 곡율 반경이 가장 약한 방향(320B, 321B)을 갖고 있다. 여기서, 도면 중 실선으로 나타내는 방향(320A, 321A)에서는 렌즈(320, 321)의 굴절력이 가장 강하게 되고, 도면 중 파선으로 나타내는 방향(320B, 321B)에서는 렌즈(320, 321)의 굴절력이 가장 약해진다. 또, 이하에 있어서는, 곡율 반경(굴절력)이 가장 강하게 되는

렌즈 L42 및 정렌즈 L43에 대하여, 제 3 조정 수단(402)에 의해 회전 위치의 조정이 가능하다.

즉, 본 실시예에서는, 도 15~도 17에 나타내는 각 투영 광학계 PL에 있어서, 제 1 렌즈군 G1~제 4 렌즈군 G4 각각의 렌즈군 중의 적어도 하나의 렌즈는 제 1~제 3 조정 수단(400~402) 중 어느 하나의 조정 수단에 의해 위치 또는 자세의 조정이 가능하다. 또한, 제 1 면 A와 제 3 렌즈군 G3 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면과의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 제 2 면 B와 제 3 렌즈군 G3 중의 최소 유효 직경을 갖는 렌즈면과의 사이에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 광축에 대하여 회전 비대칭인 렌즈면을 갖고, 제 3 조정 수단(402)에 의해 회전 위치의 조정이 가능하다. 또한, 투영 광학계 PL 중의 복수의 렌즈 중의 개구 조리개 AS보다도 제 1 면 A측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 투영 광학계 PL 중의 복수의 렌즈 중의 개구 조리개 AS보다도 제 2 면 B측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 제 1~제 3 조정 수단(400~402) 중 어느 하나의 조정 수단에 의해 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽의 조정이 가능하다. 또한, 투영 광학계 PL 중의 복수의 렌즈 중의 개구 조리개 AS보다도 제 1 면 A측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈와, 투영 광학계 PL 중의 복수의 렌즈 중의 개구 조리개 AS보다도 제 2 면 B측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 광축에 대하여 회전 비대칭인 렌즈면을 갖고, 제 3 조정 수단(402)에 의해 회전 위치의 조정이 가능하다. 또한, 투영 광학계 PL 중의 복수의 렌즈 중의 비구면 형상의 렌즈면(ASP2)을 갖는 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 제 1 조정 수단(400)에 의해 위치 및 자세의 조정이 가능하다. 그리고, 렌즈의 위치 및 자세를 조정하는 것에 의해, 투영 광학계 PL의 결상 특성을 보정할 수 있다.

특히, 본 실시예에서는, 투영 광학계 PL 내외의 환경을 계측하고, 그 계측 결과에 근거하여, 그 렌즈의 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽을 조정해서, 투영 광학계 PL의 결상 특성을 보정하는 것이므로, 환경 조건의 변화에 따른 투영 광학계 PL의 결상 특성의 변동을 억제할 수 있다.

그런데, 투영 광학계 PL의 결상 특성을 보정하는 방법으로서는, 상술한 렌즈의 위치 및 자세의 조절을 하는 것에 한정되지 않고, 예컨대 이전의 도 15~도 17 중에 나타내는 바와 같이, 투영 광학계 PL의 웨이퍼 W측이나 투영 광학계 PL의 레티클 R측에 평행 평면판(330)을 설치하고, 도시하지 않은 구동부를 거쳐서 이 평행 평면판(330)의 위치 및 자세를 조절하더라도 무방하다. 이 경우, 표면에 미묘한 요철이 형성된 평행 평면판을 이용하는 것에 의해, 투영 광학계 PL의 전계(全系)가 갖고 있는 수차 중에서도 특히 왜곡(왜곡 수차)의 비회전 대상 성분을 보정하는 것이 가능해진다. 또는, 투영 광학계 PL의 웨이퍼 W측에 평행 평면판을 설치하고, 이 평행 평면판의 Z축 방향의 위치나 경사각을 조정하는 것에 의해, 편심 코마 수차를 보정하는 것이 가능해진다.

또한, 예컨대 일본 특허 공개 평성 제 9-329742 호 공보 등에 개시되어 있는 바와 같이, 투영 광학계 PL의 웨이퍼 W측 또는 레티클 R측의 광로 중에 배치되는 광학 부재(예컨대, 도 15~도 17 중에 나타내는 평행 평면판(330))의 적어도 한쪽의 면의 파워를 변화시켜, 투영 광학계 PL의 결상 특성을 보정하더라도 된다. 이 경우, 파워가 상이한 광학 부재를 교환하는 것에 의해, 상기 파워를 조정하도록 하면 된다. 이것에 의해, 투영 광학계 PL의 텔레센트릭성에 영향을 미치게 하는 일없이, 상면 만곡 수차를 양호하게 보정할 수 있다.

또한, 투영 광학계 PL의 결상 특성을 보정하는 방법으로서는, 렌즈나 평행 평면판 등의 광학 부재의 위치나 자세를 변경시키는 방법 외에, 노광광의 광원(레이저 광원)의 발진 파장을 변화시키는 기술이 알려져 있다. 예컨대, 일본 특허 공개 평성 제 11-352012 호 공보 및 일본 특허 공개 제 2000-75493 호 공보에는 대기의 굴절율이 변경되는 것에 기인하는 결상 특성 변동을 저감시키는 기술이 개시되어 있다. 또한, 예컨대 일본 특허 공개 평성 제 7-245251 호 공보 등에는 광원의 발진 파장을 시프트시키는 것에 의해, 적극적으로 투영 광학계의 결상 특성을 보정하는 기술이 개시되어

도 20에 있어서, 패턴 형성 공정(단계 901)에서는, 본 실시예의 노광 장치를 이용하여 레티클의 패턴을 감광성 기판(레지스트가 도포된 유리 기판 등)에 전사 노광하는, 소위 광 리소그래피 공정이 실행된다. 이 광 리소그래피 공정에 의해서, 감광성 기판 상에는 다수의 전극 등을 포함하는 소정 패턴이 형성된다. 그 후, 노광된 기판은 현상 공정, 예칭 공정, 레티클 박리 공정 등의 각 공정을 거침으로써, 기판 상에 소정의 패턴이 형성되고, 다음 컬러 필터 형성 공정(단계 902)으로 이행한다.

다음에, 컬러 필터 형성 공정(단계 902)에서는, R(Red), G(Green), B(Blue)에 대응한 3개의 도트의 세트가 매트릭스 형상으로 다수 배열된 컬러 필터를 형성한다. 그리고, 컬러 필터 형성 공정(단계 902) 후에, 셀 조립 공정(단계 903)이 실행된다.

셀 조립 공정(단계 903)에서는, 패턴 형성 공정(단계 901)에 의해 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판, 및 컬러 필터 형성 공정(단계 902)에 의해 얻어진 컬러 필터를 등을 이용하여 액정 패널(액정 셀)을 조립한다. 셀 조립 공정(단계 903)에서는, 예컨대, 패턴 형성 공정(단계 901)에 의해 얻어진 소정 패턴을 갖는 기판과 컬러 필터 형성 공정(단계 902)에 의해 얻어진 컬러 필터와의 사이에 액정을 주입하여, 액정 패널(액정 셀)을 제조한다.

그 후, 모듈 조립 공정(단계 904)에서, 조립된 액정 패널(액정 셀)의 표시 동작을 실행시키는 전기 회로, 백 라이트 등의 각 부품을 부착하여 액정 표시 소자로서 완성시킨다. 상술한 액정 표시 소자 제조 방법에 따르면, 지극히 미세한 회로 패턴을 갖는 액정 표시 소자를 스루풋 좋게 얻을 수 있다.

그런데, 상기 도 10의 실시예에서는, 조명 광학계 중의 광학 적분기(유니포마이저, 호모지나이저)로서 플라이 아이 렌즈(43, 46)를 이용하고 있지만, 1장의 기판 위에 복수의 렌즈면을 예칭 등의 방법에 의해 형성한 마이크로 플라이 아이 렌즈를 이용하더라도 된다. 또한, 제 1 플라이 아이 렌즈(43) 대신에, 회절 작용에 의해 입사광을 발산시키고 그 파필드(프라운호퍼 회절 영역)에서 원형 형상, 고리띠 형상, 다중 극 형상의 조야를 형성하는 회절 광학 소자를 이용하더라도 된다. 또, 이러한 회절 광학 소자로서는, 예컨대 미국 특허 제 5,850,300 호 공보에 개시되어 있는 것을 이용할 수 있다. 여기서, 회절 광학 소자를 이용하는 경우에는, 광로 저연 광학계(41)를 생략하더라도 무방하다.

또한, 광학 적분기로서는, 내면 반사형 적분기(로드· 적분기, 광 파이프, 광 터널 등)를 이용하는 것도 가능하다. 이러한 내면 반사형 적분기를 이용하는 경우에는, 내면 반사형 적분기의 사출면과 레티클의 패턴면이 거의 공역으로 된다. 따라서, 도 10의 실시예에 적용하는 경우에는, 예컨대 내면 반사형 적분기의 사출면에 근접시켜 조명 시야 조리개(레티클 블라인드)(11)를 배치하고, 제 1 플라이 아이 렌즈(43)의 사출면과 내면 반사형 적분기의 입사면을 거의 공역으로 하도록, 줌 렌즈(44)를 구성한다.

된다, 디바이스 패턴을 유리 플레이트 상에 전사하는 노광 장치, 박막 자기 헤드의 제조에 이용되며, 장치 패턴을 세라믹 웨이퍼 상에 전사하는 노광 장치, 활상 소자(CCD 등)의 제조에 이용되는 노광 장치 등에도 본 발명을 적용할 수 있다. 또한, 레티클 또는 마스크를 제조하기 위해서 유리 기판 또는 실리콘웨이퍼 등에 회로 패턴을 전사하는 노광 장치에도 본 발명을 적용할 수 있다.

이상, 첨부 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 바람직한 실시예에 대하여 설명했지만, 본 발명은 이러한 예에 한정되지 않는 것은 말할 필요도 없다. 당업자라면, 특히청구범위에 기재된 기술적 사상의 범위 내에서, 각종 변경예 또는 수정예에 상도(想到)할 수 있는 것은 분명하고, 그것들에 대해서도 당연히 본 발명의 기술적 범위에 속하는 것으로 이해해야 할 것이다.

발명의 효과

이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 의하면, 짧은 초로 길이와 적은 렌즈면 수를 갖고, 초기 상태에서 양호한 결상 성능을 가질 뿐만 아니라, 조명 조건이나 환경이 변화되었다고 해도 양호한 결상 성능을 유지할 수 있는 투영 광학계를 제공할 수 있다.

또한, 본 발명에 의하면, 지극히 미세화된 투영 원판의 패턴의 상을 워크 상에 양호하게 투영 가능한 투영 노광 장치 및 투영 노광 방법을 제공할 수 있어, 미세한 회로 패턴을 고해상으로 형성할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

복수의 렌즈를 거쳐서 제 1 면의 상(像)을 제 2 면 상에 투영하는 투영 광학계에 있어서,

상기 제 1 면과 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 부(負)의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈군과,

상기 제 1 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 정(正)의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈군과,

상기 제 2 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 부의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈군과,

상기 제 3 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치된 제 4 렌즈군과,

상기 제 4 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 정의 굴절력을 갖는 제 5 렌즈군

을 포함하되,

거기에서, 상기 투영 광학계에서의 렌즈면의 유효 직경 또는 렌즈의 외경은, 상기 제 1 면측으로부터 상기 제 2 면측으로 향하는 방향에서, 상기 제 1 렌즈군에서는 단조 증가하고, 상기 제 2 렌즈군 중에서 증가로부터 감소로 향하는 경향을 갖고, 상기 제 3 렌즈군 중에서 감소로부터 증가로 향하는 경향을 가지며, 또한 상기 제 5 렌즈군 중에서 단조 감소하는 구성을 취하고,

상기 제 2 렌즈군 중의 최대 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경 또는 최대 외경을 갖는 렌즈의 외경을 M_{x2} 라고 하고, 상기 제 3 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경 또는 최소 외경을 갖는 렌즈의 외경을 M_{n3} 이라고 할 때,

(수학식 1)

$$1. \quad 7 < M_{x2} / M_{n3} < 4$$

투영 광학계.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 제 3 렌즈군과 상기 제 2 면 사이에 위치하는 개구 조리개를 더 포함하는 투영 광학계.

청구항 5.

복수의 렌즈를 거쳐서 제 1 면의상을 제 2 면상에 투영하는 투영 광학계에 있어서,

상기 제 1 면과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 부의 굴절력을 갖는 제 1 렌즈군과,

상기 제 1 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 정의 굴절력을 갖는 제 2 렌즈군과,

상기 제 2 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 부의 굴절력을 갖는 제 3 렌즈군과,

상기 제 3 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 광로 중에 개구 조리개를 갖는 제 4 렌즈군과,

상기 제 4 렌즈군과 상기 제 2 면 사이의 광로 중에 배치되고 정의 굴절력을 갖는 제 5 렌즈군

을 포함하되,

거기에서, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈의 렌즈면의 유효 직경 또는 상기 복수의 렌즈의 외경은, 상기 제 2 렌즈군 중에서 극대를 갖고, 상기 제 3 렌즈군 중에서 극소를 갖고, 상기 제 3 내지 제 5 렌즈군 중에서 극대를 갖는 구성을 취하며, 또한 상기 제 1 면으로부터 상기 제 2 면까지의 사이에서 단지 하나가 현저한 극소를 갖고,

상기 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지되며,

상기 투영 광학계의 상기 제 2 면측의 개구 수는 0.8 이상의 개구 수를 갖는

투영 광학계.

청구항 6.

제 5 항에 있어서,

상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈가 형성하는 공기 렌즈 중의 가장 제 1 면측에 배치되는 공기 렌즈는 양(兩) 볼록 형상을 갖는 투영 광학계.

청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 제 2 렌즈군 중의 최대 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경 또는 최대 외경을 갖는 렌즈의 외경을 $Mx2$ 라고 하고, 상기 제 3 렌즈군 중의 최소 유효 직경을 갖는 면의 유효 직경 또는 최소 외경을 갖는 렌즈의 외경을 $Mn3$ 이라고 할 때,

(수학식 1)

청구항 13.

제 12 항에 있어서,

상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 상기 개구 조리개보다도 상기 제 1 면측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈 와, 상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 상기 개구 조리개보다도 상기 제 2 면측에 위치하는 적어도 하나의 렌즈는 광축에 대하여 회전 비대칭인 렌즈면을 갖고, 또한 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지되는 투영 광학계.

청구항 14.

제 13 항에 있어서,

상기 제 1 렌즈군은 적어도 1개의 부렌즈를 갖고,

상기 제 2 렌즈군은 적어도 1개의 부렌즈와 적어도 3개의 정렌즈를 갖고,

상기 제 3 렌즈군은 적어도 2개의 부렌즈를 갖고,

상기 제 5 렌즈군은 적어도 4개의 정렌즈를 갖는

투영 광학계.

청구항 15.

제 14 항에 있어서,

상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈 중의 적어도 하나의 렌즈는 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 투영 광학계.

청구항 16.

제 15 항에 있어서,

상기 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 렌즈는 위치 및 자세 중의 적어도 한쪽이 조정 가능해지도록 유지되는 투영 광학계.

청구항 17.

제 16 항에 있어서,

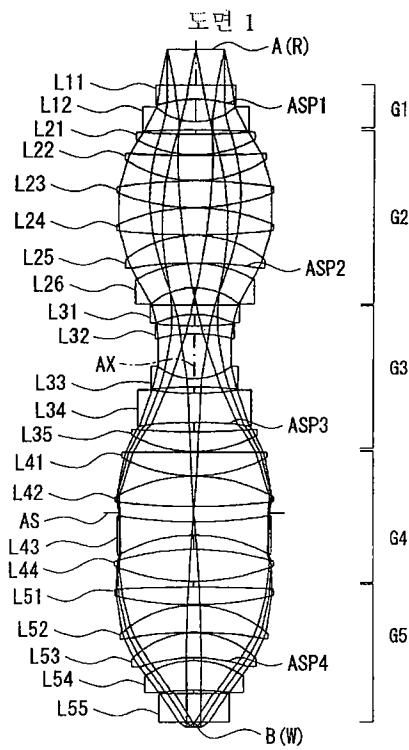
상기 투영 광학계 중의 상기 복수의 렌즈는, 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 제 1 비구면 렌즈와, 비구면 형상의 렌즈면을 갖는 제 2 비구면 렌즈를 적어도 갖고,

상기 제 1 비구면 렌즈의 렌즈면의 유효 직경 또는 해당 렌즈의 외경을 D1, 상기 제 2 비구면 렌즈의 렌즈면의 유효 직경 또는 해당 렌즈의 외경을 D2라고 할 때,

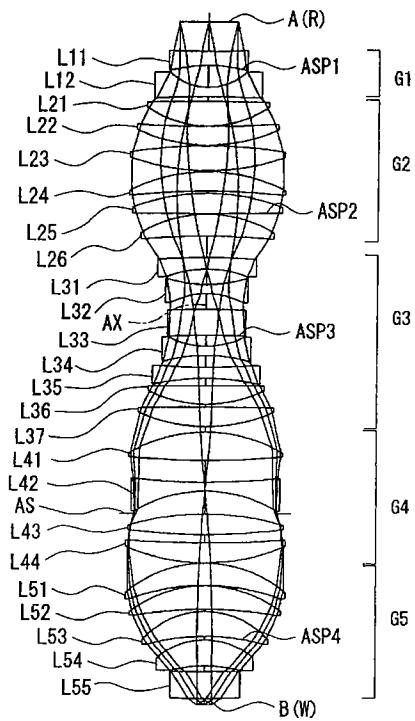
(수학식 3)

$$0.8 < D_1 / D_2 < 1.2$$

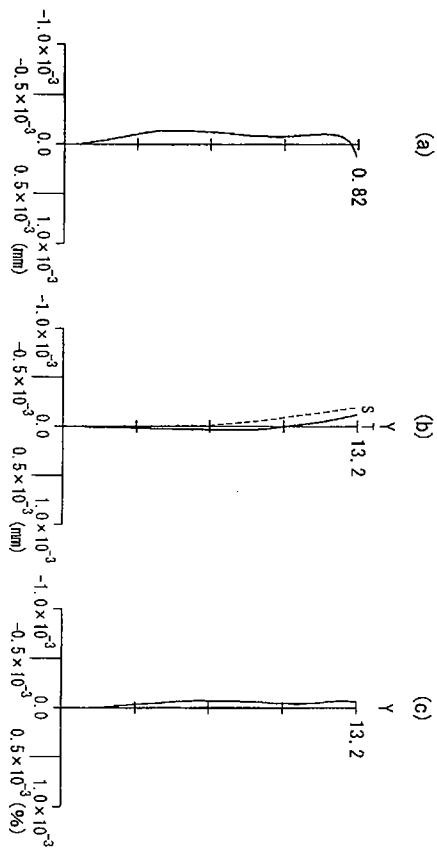
도면



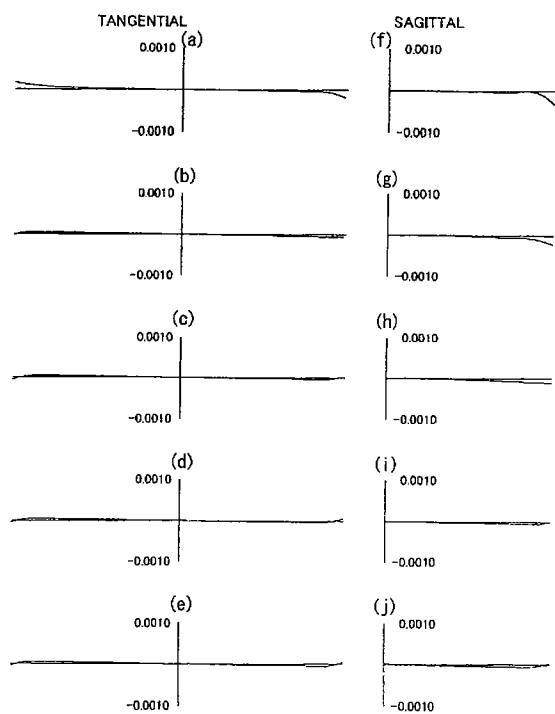
도면 3



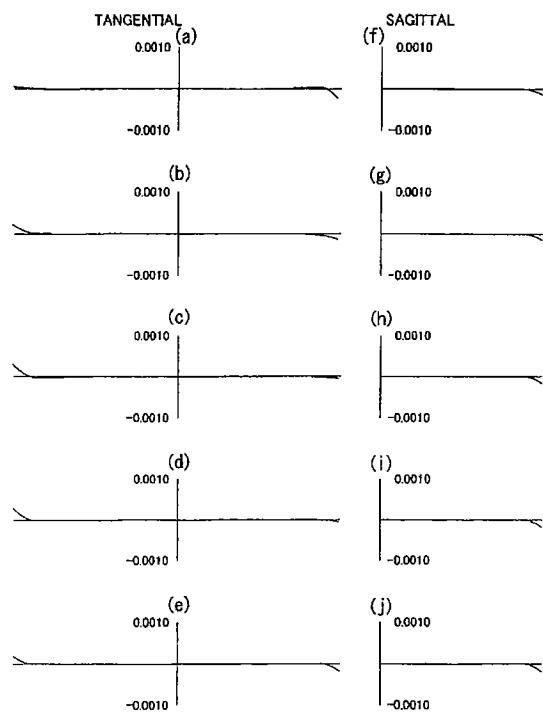
도면 5



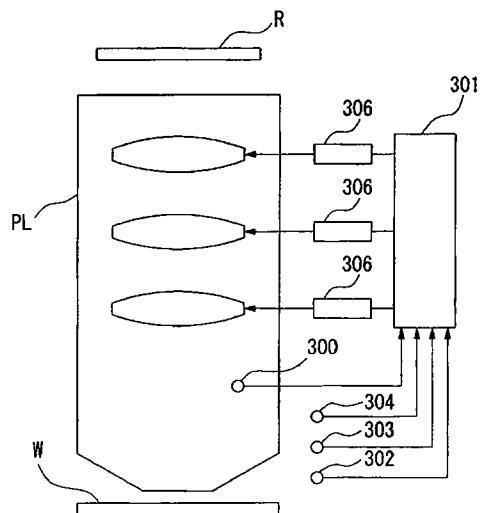
도면 7



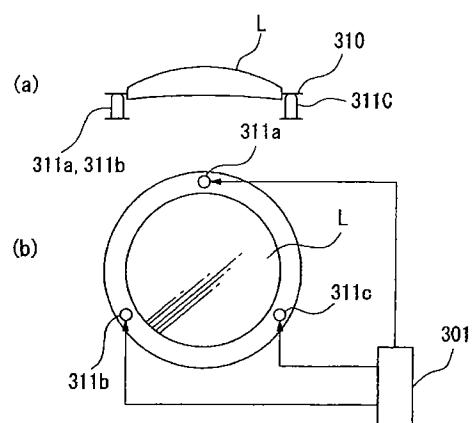
도면 9



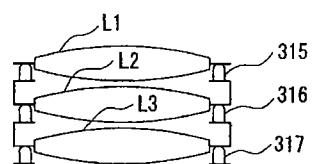
도면 11



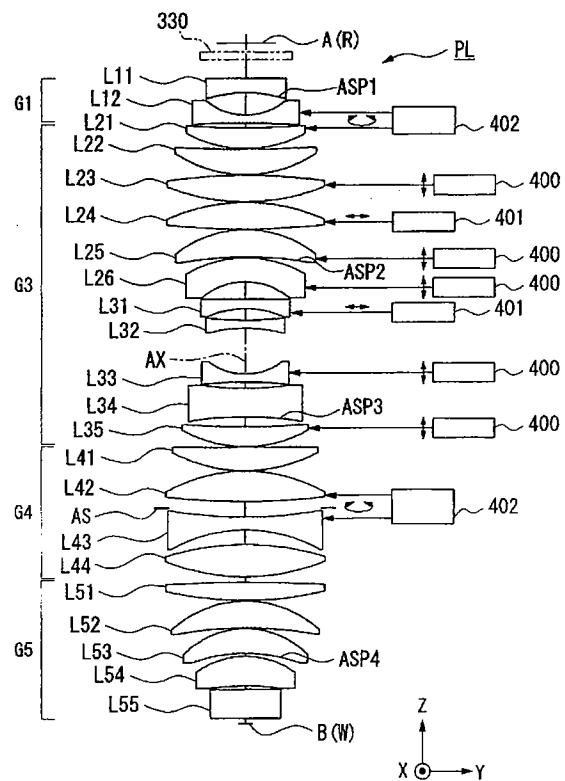
도면 12



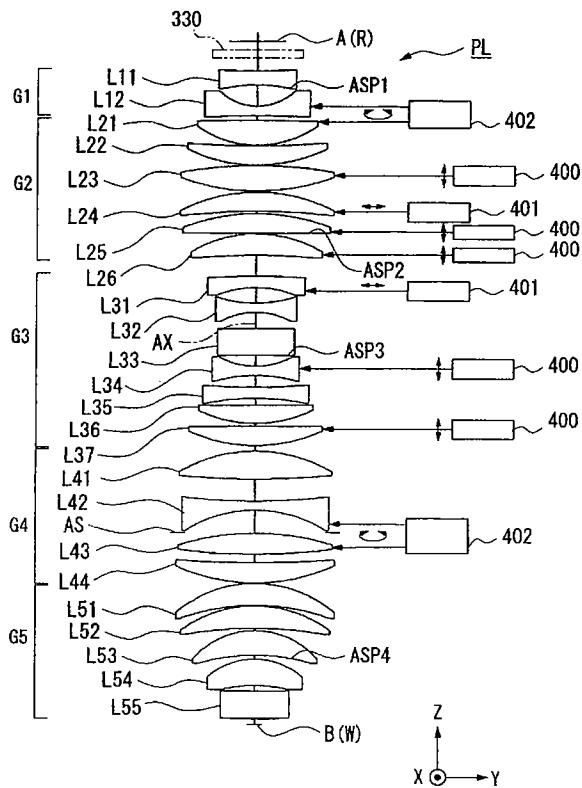
도면 13



도면 15



도면 17



도면 18

